



Le multiplexage, réservé il y a encore peu de temps aux produits haut de gamme, s'est généralisé sur tous les véhicules récents.

Cette technologie, remplaçant le schéma électrique classique du fil reliant l'interrupteur et l'ampoule par une communication entre boîtiers électroniques, permet un gain appréciable de performance, de poids et de fiabilité. Ce document montre les avantages du multiplexage pour les utilisateurs et les constructeurs, son fonctionnement et les différentes normalisations mondiales qui se mettent en place.

Devant le nombre croissant de systèmes électriques et électroniques, la longueur du câblage embarqué dans un véhicule a été multipliée par 4 ces vingt dernières années.

Un véhicule pouvait embarquer plus de 5 000 mètres de fils électriques. Certains passages de portière pouvaient recevoir près de 40 fils. Tout cela devenait bien sûr néfaste pour l'automobile, tant en terme de poids, plus de 80 kg de fils embarqués, qu'en terme de fiabilité car cette surabondance multiplie aussi le nombre de connexions.

Pourtant, la demande ne fait que s'amplifier. Le nombre de systèmes de sécurité et de confort est en augmentation. Les systèmes doivent aussi de plus en plus communiquer entre eux. Par exemple, rien que l'information de la vitesse du véhicule est reprise par le moteur, la boîte de vitesse automatique, la climatisation, la radio (augmentation du niveau sonore), les anti-patinages, la suspension et les amortisseurs pilotés... .

Les constructeurs utilisent deux solutions pour arrêter cette prolifération de fils :

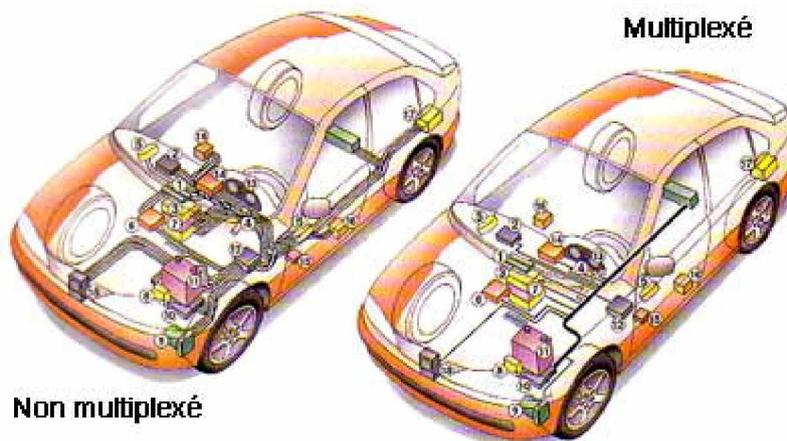
- ✚ L'intégration. Les boîtiers électroniques sont regroupés dans une seule unité. L'autre intégration consiste à intégrer le boîtier électronique dans l'organe qu'il pilote, plutôt que de le placer dans un endroit protégé de la chaleur et des vibrations. C'est le cas, par exemple, du boîtier de la pompe VP44 de Bosch, intégré dans le carter d'injection.
- ✚ Le multiplexage. Les informations ne sont plus transitées par un fil dédié, mais regroupées dans un seul fil après un traitement électronique.



On appelle multiplexage, la capacité à transmettre sur un seul support physique (appelé voie haute vitesse), des données provenant de plusieurs paires d'équipements (émetteurs et récepteurs); on parle alors de voie basse vitesse.

Les avantages du multiplexage :

- ✚ Réduction d'un quart du poids du câblage.
- ✚ Réduction du nombre de capteurs puisqu'une même information pourra être lue par tous les boîtiers électroniques.
- ✚ Amélioration de la fiabilité due à la réduction du nombre de fils et de connexions et à la limitation de l'intensité traversant des interrupteurs.

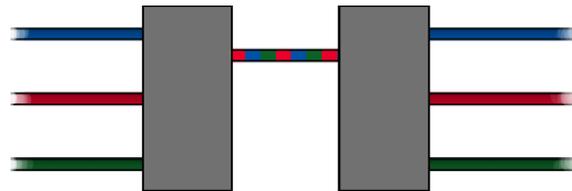


Comparatif sur une Renault Laguna

- ✚ La normalisation mondiale de l'application de cette technologie pour l'automobile réduit les coûts de développement et de production.
- ✚ Les circuits très peu sensibles aux parasites et particulièrement dans le cas de l'utilisation de fibres optiques.
- ✚ Les commandes sont plus rapides (dans le cas de la fibre optique).

## Le principe de fonctionnement.

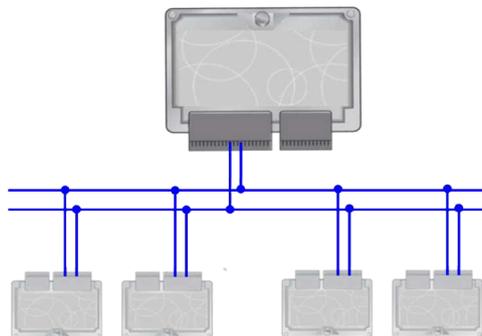
Plutôt que d'aller directement vers son organe à commander, un fil électrique va donner son information à un boîtier de codage. Ce boîtier reçoit un ensemble d'informations, qu'il va traiter afin de les envoyer dans un seul fil. Pour cela, il découpe les informations qu'il reçoit en plusieurs segments, puis envoie ses segments tour à tour dans un ordre défini.



Par exemple, pour commander le bloc optique arrière, qui comprend l'éclairage, les feux stop, les clignotants droit et gauche, le phare de recul et le feu antibrouillard, il était nécessaire d'avoir un faisceau de 6 fils entre le tableau de bord et la partie arrière du véhicule. Grâce au multiplexage, ces informations seront regroupées dans un seul fil par un boîtier de codage.

A l'arrière du véhicule, un boîtier de décodage va faire l'opération inverse et redistribuer les informations à chaque composant.

Cette transmission électronique des données s'appelle un " Bus ".



## Le codage/décodage

Le découpage des commandes électriques crée des segments d'informations, appelés " trame ". La trame permet de définir l'appartenance de la commande (ex. : à quel feu arrière appartient cette commande) et bien sûr son contenu (l'ampoule doit-elle être éteinte ou allumée).

La trame est en fait divisée en plusieurs parties (de 6 à 29 suivant les protocoles) : un signal de préambule, le signal du début de la commande, son appartenance, réception ou envoi, le contenu de la commande, le contrôle d'erreur, le signal de la fin de la commande et un espace.

Pour les spécialistes, voici quelques appellations de segments de trame couramment utilisées :

Start Of Frame (SOF), Remote Transmission Request (RTR), IDentifier Extension (IDE), Data Length Code (DLC), Cyclic Redundant Check (CRC), ACKnowledge (ACK), End Of Frame (EOF)" et Intermission Frame Space (IFS).

Il faut noter que, très souvent, les constructeurs ne codent pas un fil, mais deux, pour augmenter la fiabilité. Le deuxième fil reçoit des informations inversées par rapport au premier.

Le boîtier électronique, qui reçoit les informations, vérifie que les deux fils donnent des informations inversées. Si cela n'est pas le cas, l'information de la trame est rejetée.

## La gestion des priorités

Certaines commandes demandent des vitesses de communications plus élevées que d'autres. Il est facile de comprendre que la commande du changement d'une vitesse de la transmission automatique est prioritaire sur

celle qui demande une augmentation du volume de la radio.

Les vitesses de transmission, de même que les priorités, ont été classées en 4 catégories :

- ✚ Classe A : La classe A est la catégorie de faible débit (inférieur à 10 K bits par seconde). Elle est utilisée pour les équipements de confort tels que la radio, l'ordinateur de bord, les sièges électriques ou la fermeture centralisée.
- ✚ Classe B : La classe B regroupe les communications de débits entre 10 et 125 K bits par seconde. Exemples d'utilisation : vitesse du véhicule ou information du tableau de bord. Les commandes de classe B sont prioritaires sur celles de la classe A.
- ✚ Classe C : La classe C, la plus utilisée, est la catégorie du haut débit, entre 125 et 1 million bits/s, elle est adaptée temps réel. Elle est utilisée pour les fonctions de sécurité telles que l'ABS ou le freinage électronique, et pour les fonctions de gestion du moteur et de la transmission. Les commandes de classe C sont prioritaires sur les précédentes.
- ✚ Classe D : Cette catégorie à très haute vitesse est récente. Elle impose l'utilisation de fibres optiques à la place des traditionnels fils en cuivre et le débit atteint 25 Mbits/s (25 000 K bits/s). La Classe D est utilisée pour les équipements de navigation GPS par satellite et les fonctions de sécurité et de gestion du moteur et de la transmission de la classe C.

## La normalisation des protocoles.

Une normalisation des protocoles de communication en multiplexage n'existait pas au début de l'utilisation de cette technologie dans l'automobile.

Les 3 grands constructeurs américains, GM, Ford et Chrysler, n'en ressentaient pas le besoin car ils avaient un département de développement des équipements en interne. Ce ne fut plus le cas lorsqu'ils durent les "normaliser" pour les équipementiers, ce qui donna naissance aux sociétés Delphi et Visteon.

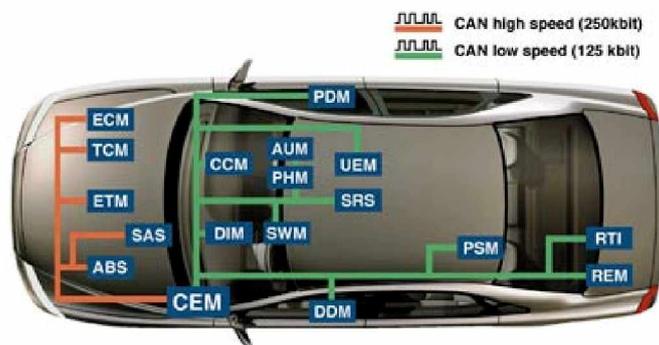
Les constructeurs et équipementiers européens demandèrent, par contre, dès le début, une normalisation des protocoles. La standardisation permet de limiter le nombre de développements par équipement, de les proposer à tous les constructeurs et de réduire les coûts.

Le multiplexage est aujourd'hui organisé autour de quelques protocoles dont les 2 premiers sont majeurs :

### Le Bus CAN

Le Bus CAN, Controller Area Network, a été développé par l'équipementier Bosch dans les années 80 et en partenariat avec la société Intel. Il a été utilisé la première fois par la Mercedes Classe S en 1991.

Il est utilisé par la majorité des constructeurs européens et commence à s'imposer chez les constructeurs américains et japonais.



Système de multiplexage de la Volvo S80

Il est à noter que le Bus CAN est développé en deux formats, le CAN 2.0 A et le CAN 2.0 B, le deuxième étant une extension du premier.

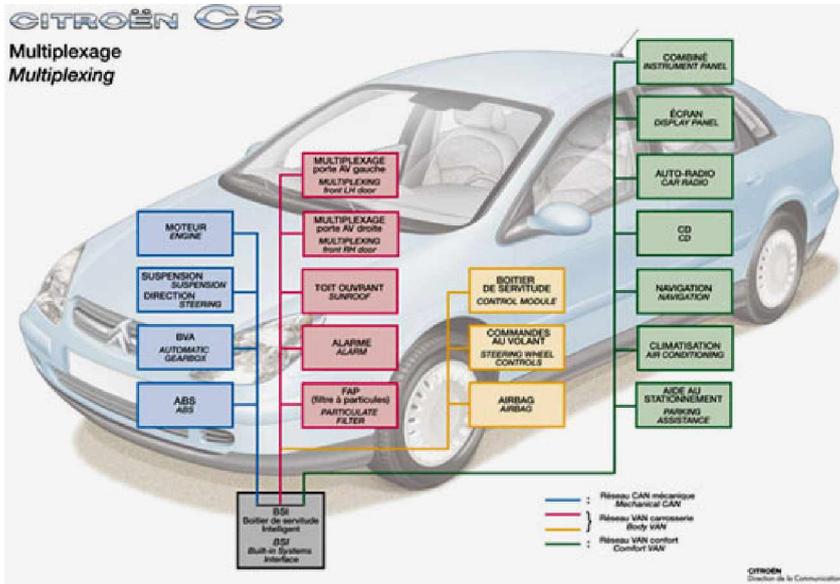
C'est le Bus du très haut débit par excellence (classe C et D). Généralement, un premier réseau, à 250 ou 500 K bits, est utilisé pour la gestion du moteur, de la boîte de vitesses et des équipements de sécurité et un second réseau, à 125 K bits, est utilisé pour les équipements de confort. La dernière version est le CAN 2.0B.

## Le Bus SAE J1850

Le bus SAE J1850 est né d'une volonté de normalisation des 3 grands constructeurs américains. Il est, en fait, un mélange du protocole Classe 2 de GM et du SCP de Ford. Il est utilisé pour des débits de classe B et C.

## Le Bus VAN

Le Bus VAN, Vehicle Area Network, a été développé en majorité par les constructeurs français. Il est utilisé pour les informations de moyen et haut débit (classes B et C) et des applications à faibles coûts. Il utilise une communication à double fil (informations inversées). Voir le site [www.van-mux.org](http://www.van-mux.org)

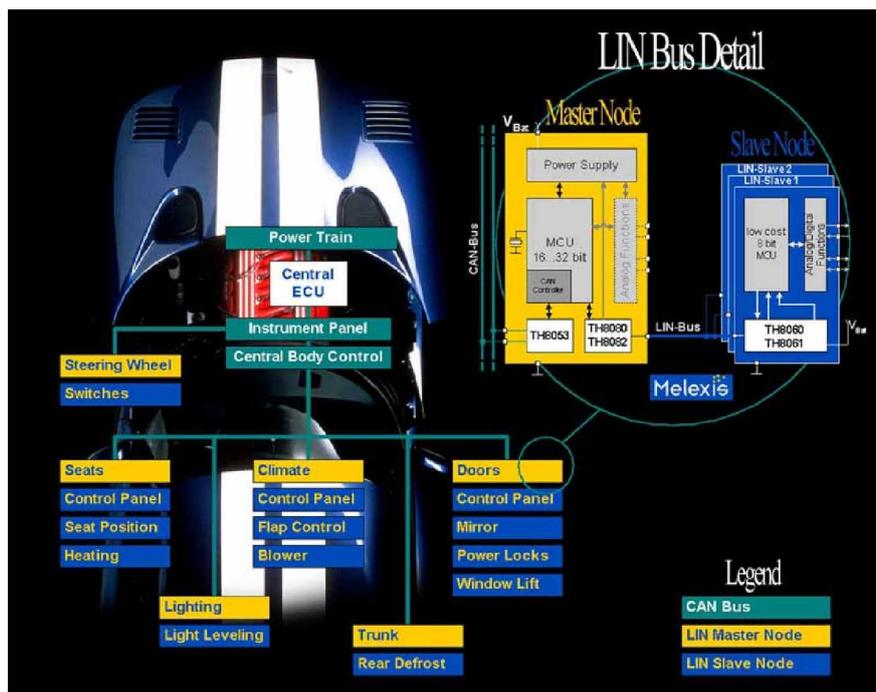


- ✚ Circuit bleu : CAN (moteur, transmission, suspension et direction)
- ✚ Circuit rouge : VAN (carrosserie : portes avant, toit ouvrant, alarme et FAP)
- ✚ Circuit jaune : VAN (carrosserie : commandes au volant, airbag et divers)
- ✚ Circuit vert : VAN (confort : radio, GPS, climatisation,...)
- ✚ En noir : le BSI

## Le Bus LIN

Le Bus LIN, Local Interconnect Network, a été créé par un consortium de constructeurs automobiles dont Audi, BMW, Daimler Chrysler, Volkswagen, Volvo et des fabricants de semi-conducteurs afin de générer un réseau secondaire de classe A à coût réduit fonctionnant avec le Bus CAN.

Le Bus LIN est basé sur une interface UART/SCI commun qui est standard pour la plupart des microcontrôleurs. Il est spécifiquement utilisé pour les applications telles que les miroirs électriques, les sièges électriques, la fermeture centralisée, les lève-vitres avec ou sans fonction anti-pincement. Voir le site [www.melexis.com](http://www.melexis.com)



## Le Bus MOST

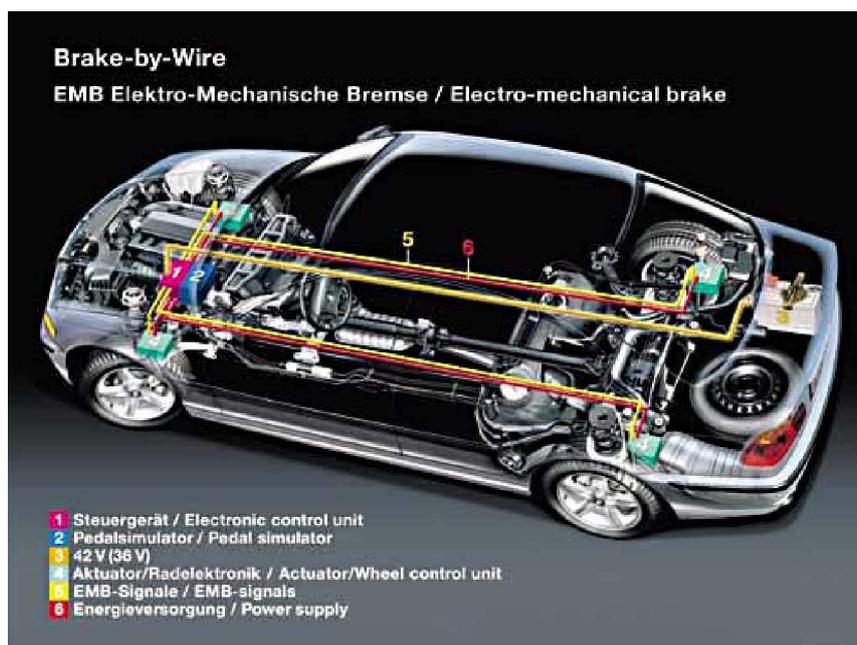
Plusieurs protocoles se sont développés pour adapter la technologie du multiplexage à la diffusion de systèmes multimédia. Le Bus MOST, Media Oriented Systems Transport, semble prendre l'ascendant sur ses rivaux. Ce bus prend en charge les systèmes audio, vidéo et GPS. Il est basé sur la technologie CAN.

D'autres protocoles secondaires sont aussi développés pour des applications très spécifiques.

## L'avenir

Le multiplexage a permis une réduction considérable du nombre de fils et de connexions. Mais la demande en systèmes électroniques est telle que le véhicule est peu à peu envahi par les calculateurs électroniques. La nouvelle Peugeot 406 peut " héberger " jusqu'à 13 calculateurs, la Peugeot 607 21 et le dernier modèle de la marque, la Peugeot 807, 29 calculateurs.

Demain, la tension électrique de 42 volts et la technologie X-by-wire qui piloteront les équipements de freinage, suspension et direction feront que les véhicules seront gérés par plusieurs centaines de mini calculateurs électroniques.



Freinage électro-mécanique - BMW

Le Flexray, protocole de communication par ondes radio qui permet de faire dialoguer, sans fil, des appareils électroniques. Selon toute probabilité, les sous-systèmes automobiles utilisant la technologie " drive-by-wire " (comprenant le freinage, la direction, la commande de suspension/injection et de l'obturateur) remplaceront progressivement les circuits hydrauliques et les câbles mécaniques des véhicules par des réseaux, capteurs et moteurs " wire-based ".

## L'organisation du traitement.

### Le Boîtier de Servitude Intelligent (BSI)

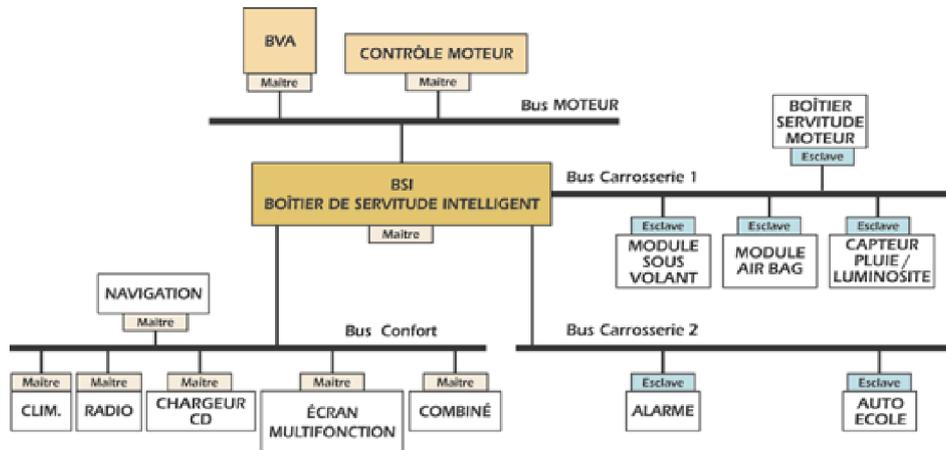
Ces protocoles transcrivent des informations analogiques (par exemple le nombre de tours/minute du moteur) en langage binaire informatique, compris et interprété par deux " cerveaux " présents dans chaque véhicule : le " boîtier de servitude intelligent " (BSI), placé dans l'habitacle, et le calculateur moteur.

Ces calculateurs jouent le rôle de chef d'orchestre, " mettent en musique " en les cadencant les milliers d'informations reçues chaque seconde, ordonnant les actions à la totalité des composants mécaniques reliés (ces ordres sont codés à travers des " trames " informatiques).

Chaque organe ne tenant compte que de l'information le concernant. Le BSI transmet également le diagnostic des organes et il contribue à la gestion de l'énergie en commandant des modes de consommation réduite pour tous les calculateurs multiplexés. Le Boîtier de Servitude Intelligent constitue le noeud du système informatique embarqué.

## L'organisation en réseaux multi maîtres

Un réseau multiplexé peut être organisé avec des dispositifs maîtres ou esclaves. Cela dépend s'ils peuvent prendre l'initiative d'une communication (maître) ou seulement répondre à un maître (esclave). Cette organisation est appelée Réseaux maître-esclave / maître-maître ou multi maître. Elle permet à un " maître " de piloter plusieurs " esclaves ", chacun ayant une tâche précise à exécuter. Les maîtres pourront dialoguer entre eux et mettre en commun des informations (maître-maîtres).



Les calculateurs échangeant régulièrement des informations entre eux sont connectés sur un bus. Pour faciliter les échanges et ne pas surcharger le bus, un véhicule multiplexé peut disposer de plusieurs bus en fonction des équipements et accessoires.